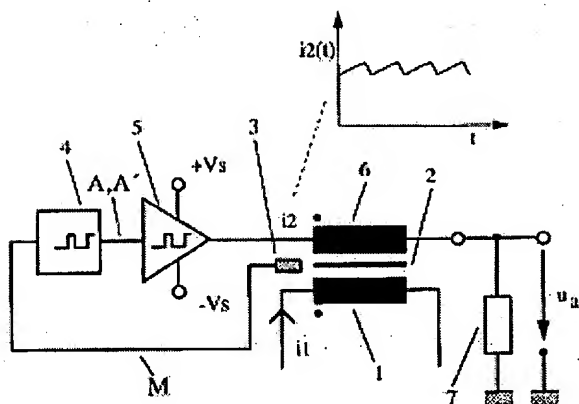


Current sensor based on compensation principle

Patent number: DE19642472
Publication date: 1998-04-16
Inventor: HEINEMANN LOTHAR DR ING (DE); DISSELNKOETTER ROLF DR RER NAT (DE)
Applicant: ABB RESEARCH LTD (CH)
Classification:
 - international: G01R19/02; G01R17/02; G01R15/18; H01F38/32
 - european: G01R15/18C2
Application number: DE19961042472 19961015
Priority number(s): DE19961042472 19961015

Abstract of DE19642472

A current sensor for DC or AC current works on the compensation principle, by which the magnetic field produced in a magnetic core (2) from a primary coil (1), flowing through the current to be measured, is compensated by a current (12) from a secondary coil (6). A switched amplifier (5) controls the compensation current through a semiconductor from which a pulsed control signal (A, A') with a high frequency, depending on the measurement value (m), is shown on the evaluation electronics (4). This minimises the energy requirements of the compensation current, so that it takes little energy from the auxiliary source. It also operates without great additional losses or a exorbitant supply voltage.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 196 42 472 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
G 01 R 19/02
G 01 R 17/02
G 01 R 15/18
H 01 F 38/32

21 Aktenzeichen: 196 42 472.0
22 Anmeldetag: 15. 10. 96
43 Offenlegungstag: 16. 4. 98

DE 196 42 472 A 1

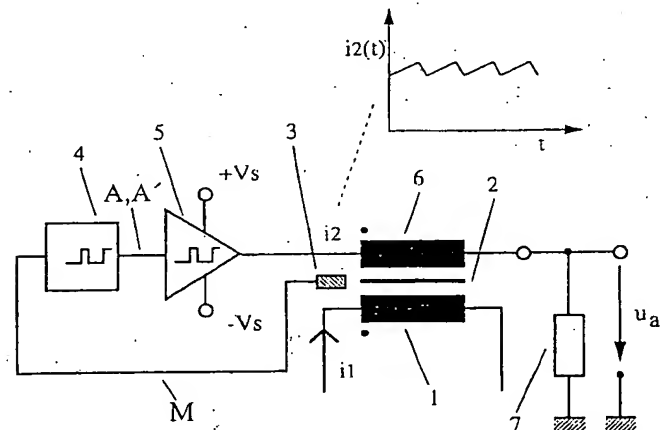
- 71 Anmelder:
ABB Research Ltd., Zürich, CH
- 74 Vertreter:
Rupprecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 61476 Kronberg
- 72 Erfinder:
Heinemann, Lothar, Dr.-Ing., 69493 Hirschberg, DE;
Disselnkötter, Rolf, Dr.rer.nat., 69256 Mauer, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 42 30 939 C2
DE 41 28 989 C2
DE 39 40 932 C2
DE 30 39 679 C2
DE 26 32 377 C2
DE 44 23 429 A1
DE 37 41 028 A1
DE 31 40 544 A1
DE 26 01 252 A1
DE-OS 23 00 802
DE-OS 22 24 618
DD 2 34 945 A1
GB 22 44 142 A
US 44 82 862
EP 06 91 544 A2
EP 01 32 745 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Flußkompensierter Stromsensor
- 57 Die Erfindung bezieht sich auf einen Stromsensor nach dem Kompensationsprinzip. Zur Verringerung des Energiebedarfs für den Kompensationsstrom ($i_2(t)$) und zur Reduzierung der Verluste bei einem Betrieb mit überhöhter Versorgungsspannung wird vorgeschlagen, einen schaltenden Verstärker (5) zu verwenden, der mit einem pulsierenden Ansteuersignal (A, A') angesteuert wird, das ein in Abhängigkeit vom Meßwert (M) gesteuertes Tastverhältnis besitzt.



DE 196 42 472 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen Stromsensor nach dem Kompensationsprinzip und mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Ein solcher Stromsensor ist aus der DE-A-44 23 429 bekannt. Das Schaltungsprinzip des bekannten Sensors ist in Fig. 4 dargestellt. Der zu messende Strom i_1 fließt durch die Primärwicklung 1 eines Stromtransformators, der einen Magnetkern 2 besitzt sowie einen den Magnetfluß im Magnetkern 2 messenden Sensor 3. Für diesen kann ein beliebiger, vorzeichenselektiver Magnetfeldsensor ausreichender Empfindlichkeit verwendet werden. Sein Ausgangssignal wird einer nachgeschalteten Auswerteelektronik 4 zugeführt, die ein von Größe und Richtung der magnetischen Induktion im Magnetkern 2 abhängiges Signal an die Verstärkeranordnung 5 liefert. Die Verstärkeranordnung 5 enthält eine oder mehrere linear geregelte Gegentakt-Endstufen, die einen vom Eingangssignal abhängigen Kompensationsstrom i_2 durch die Sekundärwicklung 6 und einen mit ihr in Serie geschalteten und mit Erde verbundenen Abschlußwiderstand 7 treiben. Das vom Kompensationsstrom erzeugte Magnetfeld ist dabei demjenigen des Primärstroms i_1 entgegengerichtet, und es wird so gesteuert, daß der Magnetfluß im Kern annähernd zu Null wird. Damit ist der Strom i_2 in der Sekundärwicklung 6 ein Maß für den Augenblickswert des zu messenden Stromes i_1 in der Primärwicklung 1. Dieses gilt dann auch für die über dem Abschlußwiderstand 7 abfallende Ausgangsspannung u_a , die in Größe und Phasenlage dem zu messenden Strom i_1 in der Primärwicklung 1 entspricht. Da durch dieses Prinzip der Flußkompensation Nichtlinearitäten der Kennlinien von Magnetkern und Magnetfeldsensor nicht direkt in das Ausgangssignal eingehen, können sowohl Gleich- als auch Wechselströme sehr linear und mit hoher Genauigkeit abgebildet werden.

In der DE-A-44 23 429 wird vorgeschlagen, die Sekundärwicklung in mindestens zwei Teilwicklungen aufzuteilen und jede Teilwicklung mit einem eigenen, den Kompensationsstrom liefernden Verstärker zu verbinden. Dadurch soll bei gleichem Kompensationsstrom ein geringeres Bauvolumen des Sensors erreichbar sein.

Im Kompensationsbetrieb ist die primäre Durchflutung des Magnetkerns eines Sensors gemäß Fig. 4 gleich der sekundären Durchflutung. Das Wandlerverhältnis i_2/i_1 ist durch das Verhältnis der Windungszahlen N_1/N_2 der beiden Wicklungen bestimmt. Bei größeren Primärströmen von typischerweise einigen 100 A bis einigen kA und vertretbaren Windungszahlen von einigen Tausend bewegen sich die Sekundärströme in der Größenordnung von einigen 100 mA. Ein Nachteil der bekannten Kompensationsstrom-Sensoren besteht daher in ihrem relativ hohen Strombedarf zur Erzeugung des Kompensationsstroms, der aus einer externen Hilfsenergiequelle gedeckt werden muß. Bei Versorgungsspannungen von typischerweise 10 bis 30 V ergeben sich Verlustleistungen von einigen Watt, die sich auf die Sekundärwicklung – auch bei deren Teilung –, den Abschlußwiderstand und die Verstärkeranordnung – sowie in geringerem Maße auch auf den Magnetfeldsensor und die Auswerteelektronik – aufteilen. Dies kann aufgrund der auftretenden Wärmeentwicklung besonders dann problematisch sein, wenn, wie etwa in Schaltanlagen und Antriebssystemen, mehrere Sensoren in einem einzigen Gehäuse oder Schaltschrank untergebracht sind.

Zur Vermeidung zusätzlicher Verluste in den Verstärker-Endstufen sollte daher die Versorgungsspannung des Kompensationsstrom-Sensors den Spannungsbedarf von Sekundärwicklung, Abschlußwiderstand und Endstufe beim maximalen zu messenden Strom möglichst nicht übersteigen.

Eine dem Sensor angepaßte Versorgungsspannung ist allerdings in einem gegebenen System nicht immer ohne zusätzliche Kosten verfügbar. Der Betrieb an einer überhöhten Versorgungsspannung andererseits muß durch zusätzliche Verluste und entsprechend höherer Versorgungsleistung erkauft werden. Selbst bei optimaler Anpassung ergeben sich bei mittleren Stromamplituden immer noch unnötige Verluste. Der Einsatzbereich der Kompensations-Stromsensoren in Systemen ist daher eingeschränkt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Kompensationsstromsensor anzugeben, der – bei vergleichbarem Meßstrombereich – weniger Energie aus der Hilfsenergiequelle entnimmt, und der ohne größere Zusatzverluste auch mit überhöhter Versorgungsspannung betrieben werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einem Stromsensor nach dem Kompensationsprinzip gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in weiteren Ansprüchen angegeben.

Der erfindungsgemäße Sensor enthält einen geschalteten Verstärker, der in Abhängigkeit vom Meßstrom gesteuert wird. Durch diese Maßnahme lassen sich die im Sensor auftretenden Verluste minimieren. Es ergeben sich erweiterte Einsatzbereiche für spezifische Ausführungen, so daß die Typenvielfalt eingeschränkt werden kann. Außerdem kann beim Betrieb an überhöhter Versorgungsspannung auch der Bereich der kurzzeitig meßbaren Stromamplituden zu höheren Werten hin erweitert werden.

Eine weitere Beschreibung der Erfindung, ihrer Ausgestaltungen und weiterer Vorteile erfolgt nachstehend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

Fig. 1 Prinzipdarstellung des erfindungsgemäßen Sensors,

Fig. 2 ein Schaltungsschema zu einer vorteilhaften Auslegung der Auswerte- und Treiberelektronik sowie des geschalteten Verstärkers der Sensoranordnung,

Fig. 3 eine Variante des Verstärkers, wobei nur ein Halbleiterschalter vorhanden ist, und

Fig. 4 eine Prinzipdarstellung einer Sensoranordnung nach dem Stand der Technik.

Fig. 1 zeigt den erfindungsgemäßen Sensor in einer Prinzipdarstellung, die mit dem bereits anhand von Fig. 4 beschriebenen Schaltungsprinzip weitgehend übereinstimmt, so daß nur die geänderte Funktionsblöcke 4 und 5 detaillierter zu beschreiben sind. Als Bezugspotential für das Ausgangssignal ist übereinstimmend mit Fig. 4 das externe Erdpotential gewählt. Die Anwendbarkeit der Erfindung ist jedoch nicht auf diesen Fall beschränkt. Die Auswerteelektronik 4 übernimmt erfindungsgemäß zusätzlich zur Speisung des Magnetfeldsensors 3 und der Aufbereitung seiner als Meßwert bezeichneten Ausgangssignale die Funktion, ein oder mehrere hochfrequente, pulsartige Signale A, A' zu erzeugen, deren Grundfrequenz im ausreichenden Abstand oberhalb der maximal zu messenden Frequenz des Primärstroms i_1 liegen muß, vorteilhaft im Bereich einiger 100 kHz oder MHz. Die hochfrequenten Signale A, A', deren Tastverhältnis durch ein Pulsweiten-Modulationsverfahren in Abhängigkeit vom Sensor-Ausgangssignal M gesteuert wird, werden der Verstärkeranordnung 5 zugeführt. Diese ist aus einem oder mehreren als Schalter betriebenen, steuerbaren Halbleiterkomponenten, zum Beispiel Transistoren aufgebaut, die – eventuell über weitere Komponenten – Verbindungen vom Ausgang der Verstärkeranordnung 5 zu den Versorgungs- (und eventuell weiteren, intern erzeugten) Potentialen herstellen. Die Ansteuerung der Halbleiterkomponenten erfolgt insofern digital, als diese sich fast ausschließ-

lich entweder im voll eingeschalteten oder im ausgeschalteten Zustand befinden, und die Übergangszeiten dazwischen möglichst kurz gehalten werden. Dadurch können die im Verstärker 5 anfallenden Schalt- und Durchlaßverluste gegenüber den bei einer analogen Ansteuerung entstehenden Verlusten stark reduziert werden.

Ein großer Teil des gegenüber dem Bezugspotential der externen Erde auftretenden Spannungsabfalls entsteht über dem induktiven Widerstand der Sekundärspule 6. Er erzeugt so keine Verluste, bewirkt jedoch eine momentane Änderung des Sekundärstroms $i_2(t)$ mit einer zunehmenden Abweichung vom Sollwert. Diese erzeugt wieder eine Flußänderung im Magnetkern 2, die vom Sensor 3 registriert wird. Die Verschaltung dieser Schleife erfolgt derart, daß eine negative Rückkopplung entsteht. Dadurch wird der Spannungsabfall über dem induktiven Widerstand der Sekundärwicklung 6 umgekehrt, und der Strom kehrt zu seinem Sollwert zurück. Bei genügend hoher Regelverstärkung und Betriebsfrequenz bleiben die hochfrequenten Abweichungen von Sollwert gering und der Momentenwert des Sekundärstroms ist ein genaues Abbild des zu messenden Stroms $i_1(t)$.

Die für den Betrieb des geschalteten Verstärkers 5 benötigten pulsförmigen Ansteuersignale A, A' können z. B. aus einem Oszillatorsignal mit fest eingestellter Frequenz generiert werden, indem dessen Tastverhältnis in Abhängigkeit vom Sensorsignal durch Pulsweitenmodulation verändert wird. Alternativ kann auch ein Frequenzmodulationsverfahren bei konstanter Pulslänge, oder die sich selbst einstellende Regelschwingung benutzt werden, wenn ein bistabiles Element mit Schalthysterese (Schmitt-Trigger) in die Schleife integriert wird.

Das beschriebene Prinzip weist neben den bereits genannten Vorteilen zusätzlich diejenigen auf, daß aufgrund des Entfallens analoger Verstärkerstufen nur ein begrenzter zusätzlicher Bauteileaufwand erforderlich ist, daß mit einer hohen Taktfrequenz eine große Bandbreite des Meßsignals realisiert werden kann, und daß sich der Stromsensor automatisch an einen großen Bereich von Versorgungsspannungen anpaßt. Durch Integration einer einfachen Gleichrichterstufe kann das System auch an Wechselspannungsversorgungen adaptiert und -bei reinen Wechselstromanwendungen- u. U. auch mit einer Spannungsversorgung aus dem Lastkreis kombiniert werden.

Fig. 2 zeigt beispielhaft eine vorteilhafte Gestaltung der Auswerte- und Treiberelektronik 4, sowie des geschalteten Verstärkers 5 entsprechend dem beschriebenen Prinzip. Die Elektronik 4 speist mit einer Einrichtung 13 den Sensor 3, bereitet sein Ausgangssignal M auf und erzeugt mit einer Treibereinrichtung 12 die Ansteuersignale A, A' für zwei Feldeffekttransistoren 9, 10, die in einer Halbbrücke zusammengeschaltet sind. Zur Erzeugung der Ansteuersignale A, A' enthält die Treibereinrichtung 12 einen Hochfrequenzoszillator und einen Pulsweitenmodulator. Entsprechend Richtung und Betrag der aktuellen Sollstromamplitude wird einer der beiden Transistoren 9, 10 getaktet. Während der Ausphase wirkt die Inversdiode des jeweils anderen Transistors als Freilaufdiode. Hierzu können unterschiedliche Pulsmuster verwendet werden, jedoch dürfen die beiden Transistoren zur Vermeidung von Kurzschlüssen der Spannungsversorgung niemals gleichzeitig eingeschaltet werden.

Alternativ zu dem hier gezeigten Beispiel können andere Varianten verwendet werden, die sich durch die Ansteuerungsverfahren, den Typ der eingesetzten Halbleiterschalter (Bipolartransistoren, IGBT, usw.) sowie der Art der Brückenschaltungen (Halbbrücke, Vollbrücke, für reine Wechselstromanwendungen evtl. gemischt mit einer kapazitiven Halbbrücke) und den Anschluß des Meßwiderstands 7 (ex-

tern z. B. gegen Masse, oder intern) unterscheiden können. Im Fall unipolarer zu messender Ströme kann das Prinzip auch mit nur einem Halbleiterschalter 11 angewendet werden (siehe Fig. 4), es ist dann jedoch eine Freilaufdiode 8 parallel zur Serienschaltung von Sekundärwicklung 6 und Abschlußwiderstand 7 vorzusehen.

Da der zum Betrieb von Magnetfeldsensor 3 und Ansteuererelektronik 4 erforderliche Versorgungsstrom im allgemeinen klein gegenüber dem Kompensationsstrom i_2 ist, kann er bei allen Ausführungsformen ohne größere Verluste mit Hilfe einer einfachen Spannungsstabilisation (z. B. bestehend aus der Serienschaltung eines Widerstands und einer Zenerdiode) direkt aus der externen Spannungsversorgung bezogen werden.

Patentansprüche

1. Stromsensor nach dem Kompensationsprinzip, insbesondere zur Messung von Gleich- und Wechselströmen, bei dem das in einem Magnetkern (2) von einer vom zu messenden Strom (i_1) durchflossenen Primärwicklung (1) erzeugte Magnetfeld durch den Kompensationsstrom (i_2) in einer Sekundärwicklung (6) kompensiert wird, wobei zur Steuerung des Kompensationsstromes (i_2) mindestens ein vom Magnetfeld (2) beeinflusster Sensor (3) Abweichungen vom Nullfluß erfaßt und diesen als Meßwert (M) über eine Auswerteschaltung (4) einer Verstärkeranordnung (5) zur Erzielung des Kompensationsstromes (i_2) zuführt, während an den Ausgang der Verstärkeranordnung (5) die Sekundärwicklung (6) in Reihe zu einem Abschlußwiderstand (7) angeschlossen ist, so daß am Abschlußwiderstand (7) eine dem zu messenden Strom (i_1) proportionale Spannung (u_a) anliegt, dadurch gekennzeichnet

a) die Verstärkeranordnung (5) als schaltender Verstärker (5) ausgeführt ist und wenigstens eine im Schaltbetrieb arbeitende steuerbare Halbleiterkomponente (9, 10, 11) zur Steuerung des Kompensationsstroms ($i_2(t)$) aufweist, und

b) Mittel (4, 12, 13) vorhanden sind, die ein hochfrequentes, in Abhängigkeit vom Meßwert (M) gepulstes Ansteuersignal (A, A') für die wenigstens eine Halbleiterkomponente (9, 10, 11) bilden.

2. Stromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (4) als Auswerte- und Treiberelektronik (4) ausgeführt ist, mit

a) einer Einrichtung (13) zur Stromversorgung des Sensors (3) und zur Auswertung seines Meßwerts (M), und

b) einer Treibereinrichtung (12), die einen Hochfrequenzoszillator und einen Modulator enthält, womit das Ansteuersignal (A, A') für die wenigstens eine Halbleiterkomponente (9, 10, 11) mit einem vom Meßwert (M) abhängigen Tastverhältnis gebildet wird.

3. Stromsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Tastverhältnis jeweils durch Pulsweitenmodulation eines Oszillator-Ausgangssignals fester Frequenz oder durch Frequenzmodulation eines mit konstanter Pulslänge pulsierenden Oszillator-Ausgangssignals eingestellt ist.

4. Stromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Auswerteschaltung (4) ein in den sekundärseitigen Kompensationsstromkreis eingefügtes bistabiles Element mit Schalthysterese vorhanden ist, mit dessen Hilfe eine sich einstellende Regel-

schwingung zur Bildung des Ansteuersignals (A, A')
genutzt ist.

5. Stromsensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkeranordnung (5) allein oder im wesentlichen gebildet ist durch
zwei Halbleiterkomponenten (9, 10) in Halbbrückenschaltung.

6. Stromsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkeranordnung (5) durch nur eine Halbleiterkomponente (11) gebildet ist und parallel zur Serienschaltung von Sekundärwicklung (6) und Abschlußwiderstand (7) eine Freilaufdiode (8) geschaltet ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

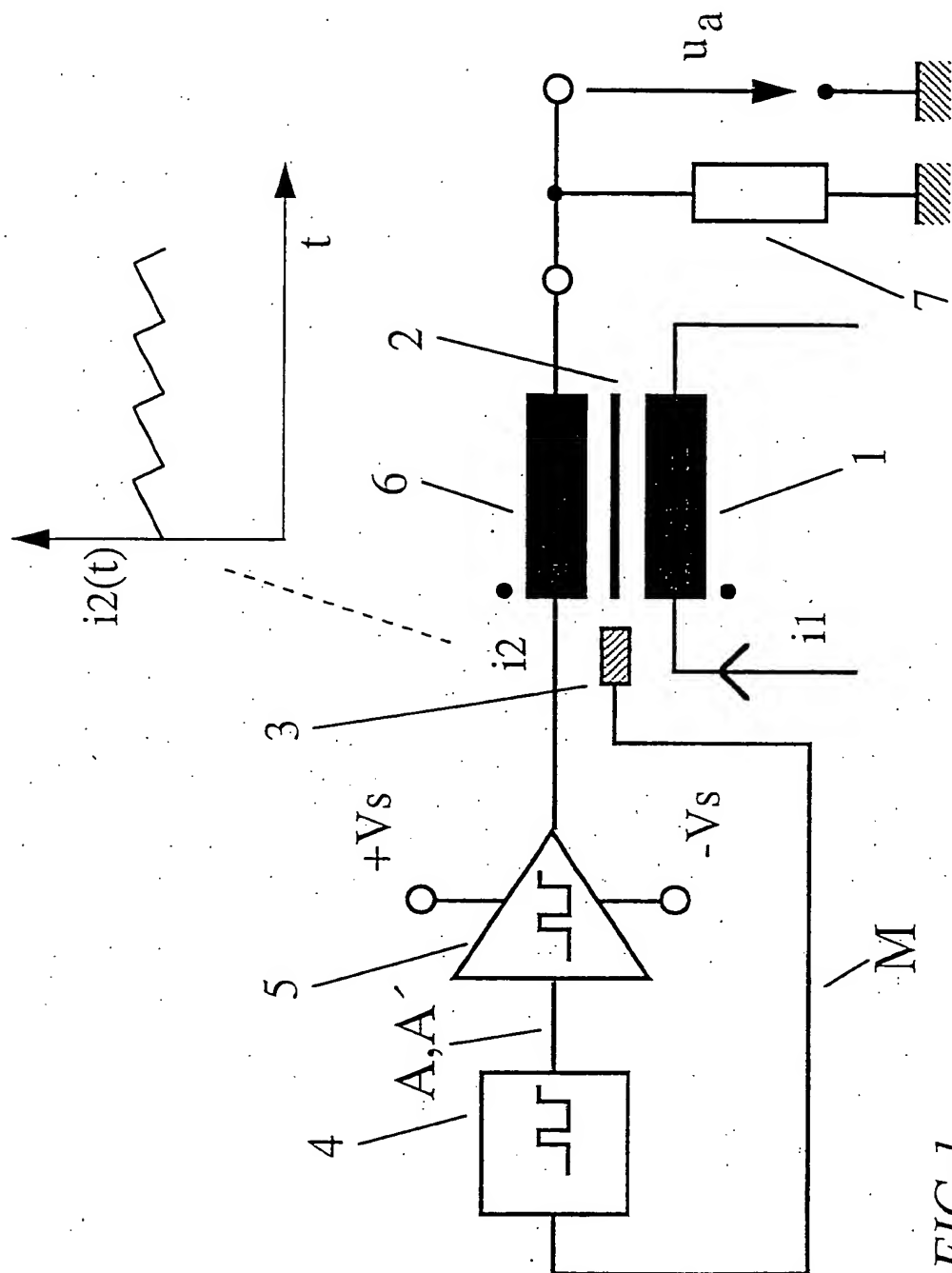


FIG 1

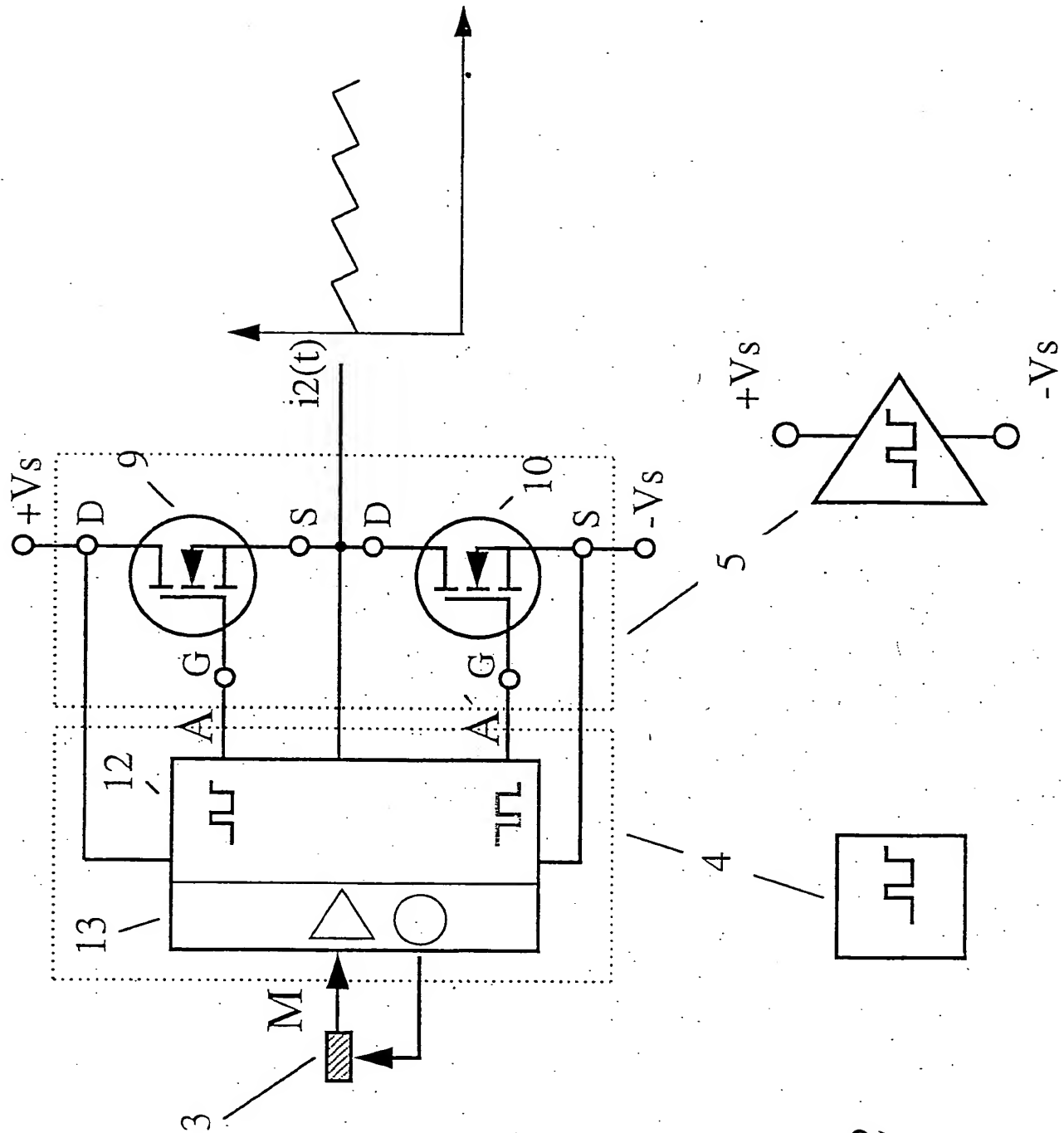


FIG 2

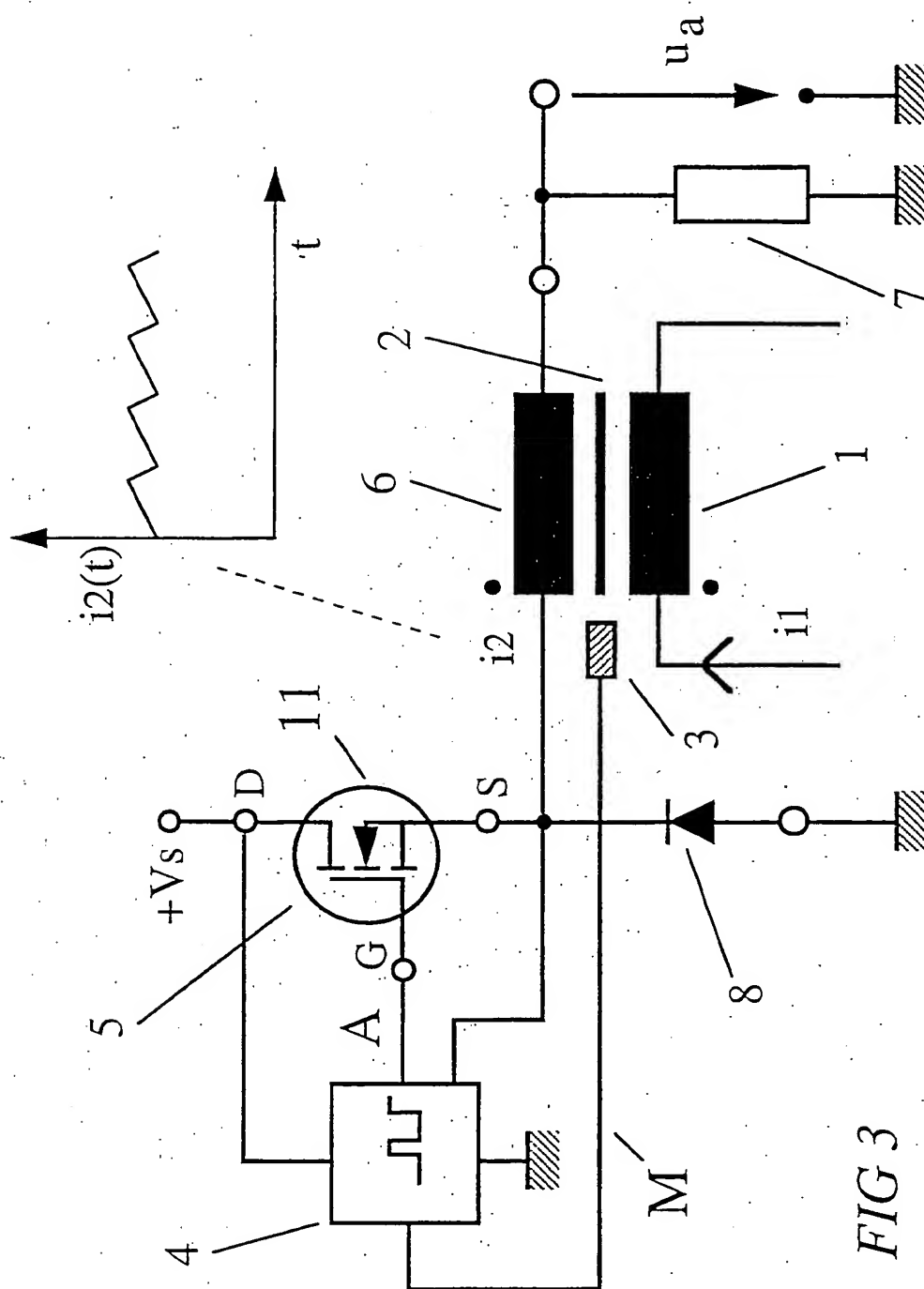


FIG 3

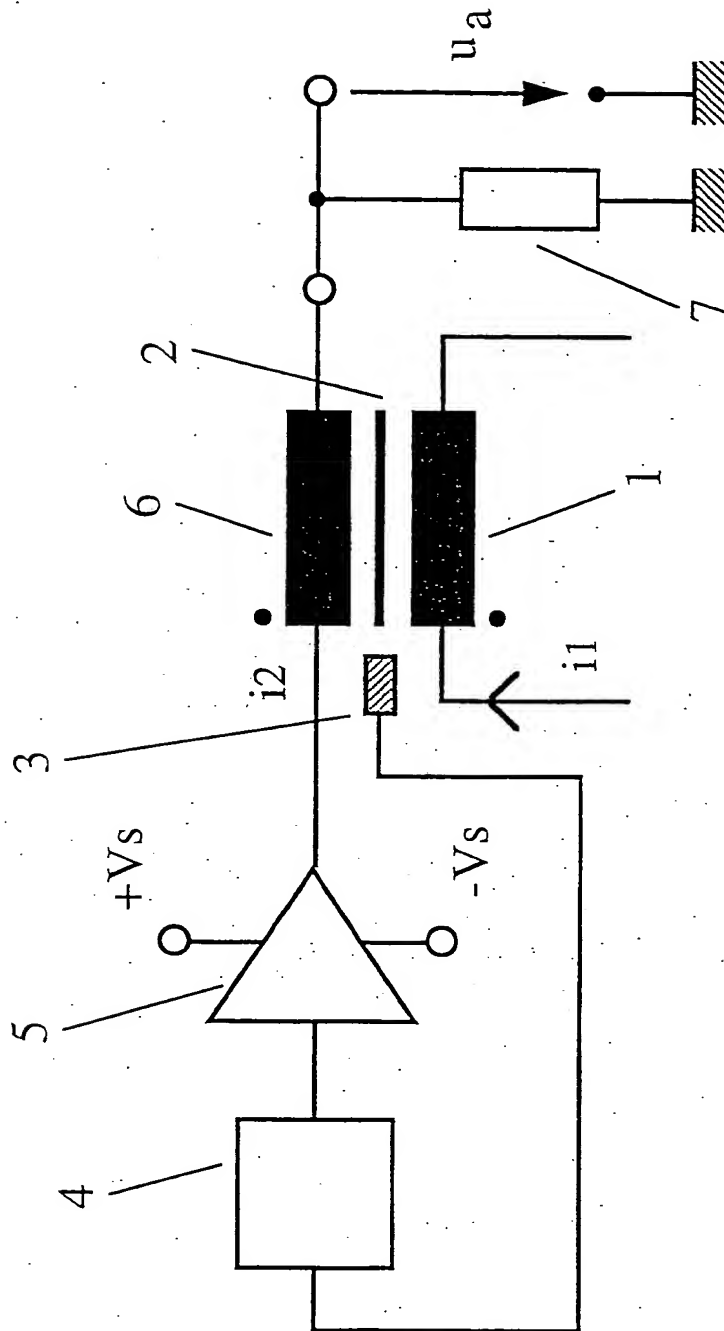


FIG 4